

RBSM-FEM 結合解析手法による RC 構造—地盤連成系の損傷評価解析

名古屋大学 学生会員 ○北川 晴之

名古屋大学大学院 正会員 山本 佳士, 中村 光, 三浦 泰人

1. はじめに

地中構造物あるいは基礎構造物の耐震性能を適切に評価するためには、地盤、および構造それぞれの複雑な非線形応答を合理的に評価することが必要である。特に、近年では、発生頻度が小さくとも一度生じると甚大な被害を及ぼす大きな地震作用に対しては、損傷を許容しながらも復旧性を考慮して損傷箇所等を制御するような高度な設計が望まれており、そのような設計、照査のためにも、地盤、構造それぞれの強非線形領域までの応答を精度よく再現する数値解析手法の開発が望まれる。

このような背景から、著者らは、ひび割れ、圧縮軟化・局所化挙動等のコンクリートの強非線形域の応答を再現可能な剛体バネモデル (RBSM) に、地盤の非線形力学応答を再現可能な非線形有限要素法 (FEM) を結合した解析手法の開発を試みた。ここでは開発した手法の概要を示すとともに、開発した手法を用いて地盤中の RC 杭を対象とした載荷解析を行い、提案手法の妥当性および有用性を検証する。

2. 解析手法

本研究では、鉄筋コンクリート (RC) を、Voronoi 分割を用いたランダム形状要素を適用した RBSM により、地盤を、8 節点立体要素を用いた非線形 FEM によりモデル化するとともに両者を結合させたモデルの開発を行った。RBSM は、剛体要素とバネで対象を離散化する手法であり、バネに塑性、軟化等の簡単な非線形構成モデルを適用することで、コンクリートのひび割れ等の不連続挙動を簡単に表現することができる。ここではバネの構成モデルに、著者らが提案している、引張・圧縮軟化、局所化挙動、拘束圧依存性挙動等を定量的に再現可能なモデルを適用した¹⁾。地盤の構成モデルには土木学会コンクリート標準示方書で推奨されている非線形モデルを適用した²⁾。具体的には、体積成分に対しては線形弾性モデルを適用し、偏差成分に対して上述の非線形構成モデルを適用した。RBSM および 8 節点立体 FEM 要素の結合には、図-1 に示すようなリンク要

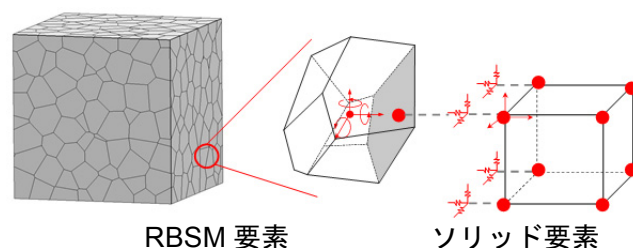


図-1 リンク要素の概要

素を用いた。リンク要素は、垂直バネ (1 成分) およびせん断バネ (2 成分) からなり、FEM 要素の節点、および RBSM 要素表面上の同位置の点を結ぶように配置した。また、本研究では、簡単のため、コンクリート—地盤間の摩擦挙動を表現するせん断バネの剛性および垂直バネの引張側の剛性は 0 と仮定した。すなわち摩擦は無視した。また、垂直バネの圧縮側の剛性はそこで相対変位が生じないように十分大きな値を設定した。

3. 地盤中における RC 杭の水平載荷解析

3.1 解析概要

解析モデルを図-2 に示す。なお、ここでは、具体的な実験を対象としているわけではなく、初歩的な検討として仮定の RC 杭—地盤構造系を対象とした。RC 杭は断面 $100 \times 100 \text{ mm}$ 、高さ 600 mm であり、主鉄筋は D10 を 4 本、かぶり 20 mm で配置した。地盤モデルの寸法は $500 \times 500 \times 500 \text{ mm}$ とし、境界条件は簡単にモデル側面および底面の節点の全自由度を固定した。水平荷重は杭頭に設置した、1 つの剛体要素でモデル化した載荷板要素を、水平方向に変位制御することで与えた。また、コンクリートのヤング係数を 20 GPa 、ポアソン比を 0.18 、圧縮強度を 25 N/mm^2 とした。地盤のポアソン比は 0.3 とし、初期せん断係数は以下の式で決定した³⁾。

$$G_0 = 11.76 N^{0.8} \quad (1)$$

式(1)中の N は対象地盤の N 値である。ここでは地盤の剛性の感度を評価するために、 N 値が 3、10 および 30 のケースで解析を行った。

3.2 解析結果

図-3 に、杭頭に作用する水平荷重および同位置の水平変位の関係を示す。地盤の剛性が大きくなるにつれて、RC 杭の剛性および最大荷重が増加する様子が確認できる。

図-4 に N 値が 3.0 のケースの RC 杭—地盤全体系の変形性状を示す。図より解析は、杭の水平変位に伴い、背面でギャップが現れているのに対し、前面の地盤が隆起する挙動を表現していることが分かる。

図-5 に、RC 杭の変形性状および、内部のひび割れ性状を示す。変形性状について、図より N 値が大きくなるにつれて、地盤の拘束により RC 杭の変形モードが変化している様子が確認できる。N 値が小さいケースでは、杭の下部から曲げ変形が生じているのに対し、N 値が大きいケースでは、杭高さの中部から曲げ変形が生じている様子が確認できる。このため、図-3 のように杭の剛性および最大荷重が変化する。また、内部のひび割れ性状については、上述の変形モードの差異により、ひび割れが集中する箇所が変化していることが確認できる。このことは、既往の実験でも確認されていることであり³⁾、提案モデルは定性的にはあるが実験の挙動を再現していることが分かった。

4. まとめ

本研究で得られた結論は以下の通りである。

- 1) RBSM およびソリッド要素 FEM を用いた RC 構造—地盤連成解析手法を開発した。
- 2) 地盤に簡単な非線形構成モデルを導入することで、定性的ではあるが、N 値の違いによる、RC 杭の変形モードおよび損傷集中箇所が変化する性状を再現できることが分かった。
- 3) 今後は実験との比較により定量的な再現性を評価していくとともに、水—土骨格連成解析手法の導入、軟化、硬化、体積変化挙動を再現可能な、より高度な構成則の導入を行う予定である。

参考文献

- 1) 山本佳士ほか：3 次元剛体バネモデルによるコンクリート供試体の圧縮破壊解析，土木学会論文集 E，Vol64，No.4，pp.612-630，2008。
- 2) 土木学会：コンクリート標準示方書設計編，pp270-276，2012。
- 3) 牧剛史，睦好宏史：鉄筋コンクリート杭の水平

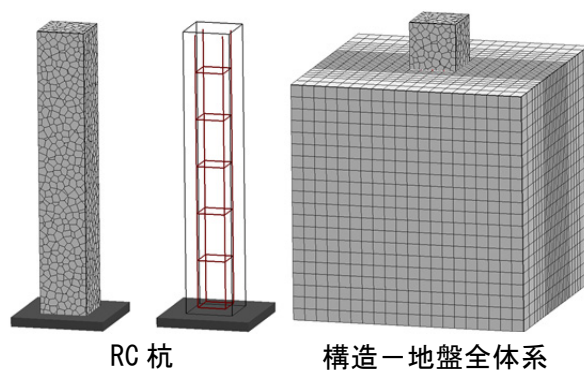


図-2 解析モデル

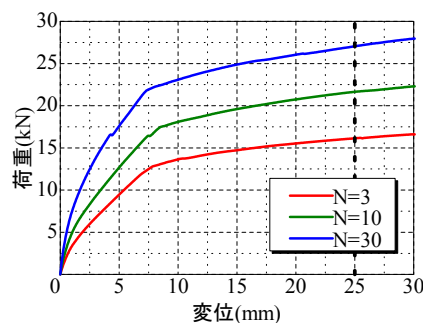


図-3 杭頭における水平荷重—変位関係

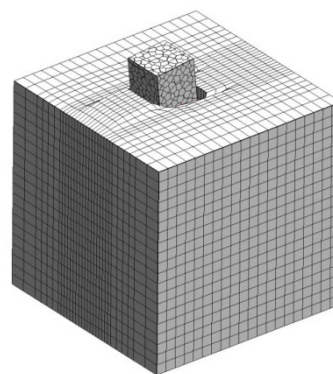


図-4 構造—地盤全体系の変形図(変形倍率:3)

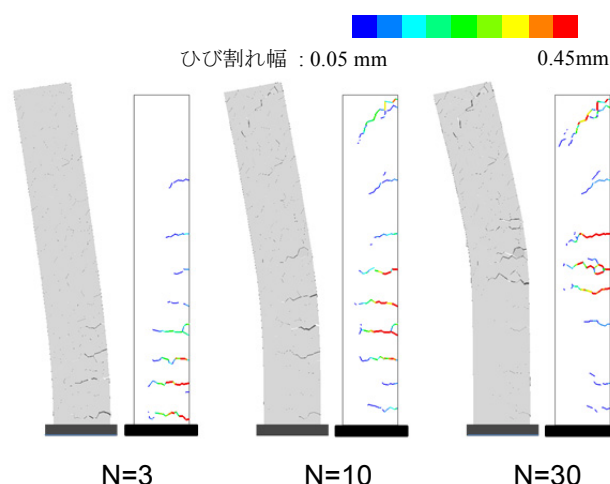


図-5 RC 杭の変形図およびひび割れ性状
(変形倍率:3)

復元力特性と変形性状に関する研究，土木学会論文集 No.683/V-52，pp.103-108，2001。